바이오시스템공학 (*J. of Biosystems Eng.*)
Vol. 34, No. 1, pp. 1~7 (2009. 2)

트랙터 안전캡의 환경 쾌적성 평가

황기영 김경욱

Evaluation of Environmental Comfort of Tractor Cabs

K. Y. Hwang K. U. Kim

Abstract

In order to evaluate environmental comfort of tractor cabs, temperature, relative humidity and noise within the cab were taken from 31 tractors during plowing and rotovating operations. The temperature and humidity were evaluated with regard to the comfort zone of KS B ISO 14269-2 and PMV of ISO 7730. The noise was evaluated with regard to the permissible sound level of OSHA for daily exposure of 8 hours.

The collected data indicated that thermal environment of the cabs was out of the comfort zone, which meant tractor operators worked under uncomfortable thermal conditions. Difference in the thermal comfort by tractor power and maker, and type of works was not found. However, 25% of the studied tractors showed PMV in a range of -0.5 to +0.5, which indicated their operators worked under the comfort criteria. PMV was improved when the cab was air-conditioned. Levels of measured cab noise were lower than the permissible criteria, and 76.7% of the studied tractors had cab noise ranged from 75 to 85 dBA. There was a tendency that high powered tractors, rotovating operations and locally-made tractors had greater cab noise levels. However, their differences were insignificant.

Keywords : Thermal comfort, PMV (Predicted Mean Vote), Tractor cab, Cab noise

1. 서 론

트랙터 작업은 주로 논, 밭 또는 비포장 도로에서 수행된다. 장시간 연속으로 작업하는 경우가 많고, 강한 햇빛, 비, 눈, 바람 등 각종 기상 상태에 노출되는 열악한 조건에서 작업하는 경우도 많다. 따라서 트랙터 운전자는 작업 환경으로 인한 각종 스트레스를 받을 수 있으며 이는 운전자의 작업 능률을 저하시킬 수 있다.

최근까지 국내의 트랙터 기술 개발은 주로 트랙터 자체의 작업 성능을 향상시키기 위한 것이었으며, 운전자를 위한 운전 환경의 개선에는 큰 관심을 가지지 못 하였다. 그러나 해외 시장에서 국산 트랙터의 기술 경쟁력을 제고하기 위해서는 운전 환경에 대한 개선이 절대적으로 필요하며, 국내에서도 트랙터 운전자의 건강과 안전에 대한 관심이 높아감에 따라 쾌적한 운전 환경에 대한 요구가 증가하고 있다.

트랙터의 안전캡은 운전 환경의 개선뿐만 아니라 전도 사고를 방지하기 위한 것으로서 국내에서도 안전캡의 장착율이 점차 증가하고 있다. 전도 사고의 방지 장치로서 안전캡은 규정된 검사 방법에 따라 철저한 성능 검사를 받고 있다. 그러나 운전 환경의 개선 장치로서는 안전캡의 내부 환경에 대한 평가가 실시된 바 없다. 안전캡의 내부 소음도 트랙터 성능 시험에서 측정하고 있으나 실제 작업 상태에서 운전자가 노출되는 소음 수준에 대한 평가는 전무한 실정이다.

본 연구에서는 안전캡의 환경 요인으로서 트랙터 작업시 안전캡 내부의 온도, 습도, 소음을 측정하고 이를 분석하여 운전실의 환경 쾌적성을 평가하였다.

The article was submitted for publication on 2008-10-30, reviewed on 2008-11-27, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2008-12-24. The authors are Ki Young Hwang, former Graduate Student, and Kyeong Uk Kim, Professor, KSAM member, Dept. of Biosysems and Biomaterials Science and Engineering, and Institute for Agricultural and Life Sciences, Seoul National University, Seoul, Korea. Corresponding author: K. U. Kim, Professor, Dept. of Biosysems and Biomaterials Science and Engineering, and Institute for Agricultural and Life Sciences, Seoul National University, Seoul, Korea; E-mail: <kukim@snu.ac.kr>.

2. 연구사

자동차, 전철의 운전실과 객실의 온열 환경에 대한 평가(Choi and Park, 1988; Cho et al,, 2005; Jang et al., 2007)는 국내에서도 다수 수행된 바 있으나, 농업용 트랙터의 안전캡을 대상으로 한 연구는 전무하였다. 온열 환경에 대한 평가 방법은 대부분 실내의 온도와 습도를 측정하여 공중 위생 기준에 대한 만족 여부를 평가하거나, PMV(Predicted Mean Vote)를 산출하여 쾌적성 정도를 평가하는 것이었다(Kaufman et al., 1979; Jang et al., 2007).

온열 환경에 비하여 소음 평가에 대해서는 다수의 연구가 수행되었다. Cho et al.(1986), Shim et al.(1995), Clark and Bohone(1999)은 공장 작업장의 소음 수준을 평가하고, 소음 수준과 직업성 난청과의 상관 관계를 구명하였다. 농업용 트랙터에 대해서는 국내에서도 형식 검사시 안전캡의 내부 소음과 외부 소음을 측정하고 있으나 안전 기준의 관점에서 이를 평가한 바는 없으며, 실제 작업 상태에서 운전자가 노출되는 소음 수준에 대한 평가도 극히 제한적으로 수행되었다(Yoo et al., 1995; Kim, 2006). 해외에서는 최근 Pessina and Guereetti(2000), Depczynski et al.(2005)이 안전캡의 방음 효과를 조사하여 캡이 있는 경우에는 캡이 없는 경우보다 소음 수준이 평균 17.4% 감소하였다고 하였다.

3. 재료 및 방법

가. 측정 대상 트랙터

본 연구에서 연구 대상으로 선정한 트랙터는 국내 4개 제조업체의 경기도 지역 대리점을 통하여 무작위로 추천받은 22~73.5 kW 범위의 트랙터 중 소유자가 측정을 허락한 트랙터 32대로 하였다. 트랙터는 출력, 국산, 수입별로 일정 대수를 정하여 추천받았으나, 측정 현장에서 트랙터 소유자의 개인 사정으로 측정이 불가능한 경우, 측정 현장 주위에서 작업하던 트랙터를 추가로 측정하는 경우 등이 발생하여 실제 측정한 트랙터 대수는 표 1에서와 같이 출력별로 차이가 많았다. 또한 44.1 kW 미만의 트랙터는 대부분 국산 트랙터였으며, 44.1 kW 이상의 트랙터는 모두 수입 트랙터였다.

Table 1 Number of tractors from which data were collected

Power range kW	No. of tractors		
	Locally made	Imported	Total
kW < 36.7	2	-	2
36.7 ≤ kW < 44.1	16	3	19
44.1 ≤ kW < 58.5	-	5	5
kW ≥ 58.8	-	6	6
Total	18	14	32

나. 측정 대상 작업

측정 대상 작업은 일반적인 트랙터 작업으로서 연중 작업 시간이 가장 긴 로터리 작업과 쟁기 작업으로 하였다. 트랙터 소유자와 약속한 작업 날짜에 현장을 방문하여 측정 장비를 트랙터에 설치하고, 운전자가 평소 작업하는 방식으로 작업하는 상태에서 안전캡 내부의 온도, 습도, 소음을 측정하였다. 트랙터에 로더가 부착된 경우에는 부착된 상태로 측정하였다.

작업 시간은 정상적인 작업 상태로서 선회, 일시 정지, 후진 등을 포함하여 약 10분간으로 하였다.

다. 측정 장치와 방법

외기의 영향을 배제하기 위하여 안전캡의 창문은 모두 닫고 측정하였으며, 기온이 20℃ 이상일 때는 한국산업규격 KS B ISO 14269-2(KSA, 2003)에 따라 공기 조화 시스템을 작동시킨 상태에서 측정하였다. 작업중 트랙터 운전자가 유지하는 안전캡 내부의 온열 상태에 대한 실태를 파악하고자 하였기 때문에 외기 조건, 트랙터 모델, 운전자의 조작 능력의 차이는 고려하지 않았으며, 측정 시점의 온열 상태로써 쾌적성 정도를 구명하였다.

온도와 습도는 한국산업규격 KS B ISO 14269-2의 시험 방법에 따라 온습도 데이터 로그(SK-LTH II α-2, SATO, Japan)를 이용하여 10초 간격으로 측정하였다. 온습도 센서는, 트랙터에 따라 차이가 있으나, 운전석 바닥으로부터 높이가 100~ 150 cm이고 운전자 머리로부터 좌측 또는 우측 5~10 cm 되는 지점에 설치하였다.

소음은 노동부 고시 제2003-62호에 따라 ANSI SI-25(1978)의 규격을 만족하는 누적 소음노출량 측정기(CEL-360, CASELLA, USA)를 사용하여 5초 간격으로 측정하였다. 소음 측정을 위한 마이크로폰은 OECD Code 5(OECD, 2006)와 작업 환경의 측정 및 정도 관리 규정(Ministry of Labor, 2005)에 따라 운전자의 귀와 가장 가까운 곳으로서 좌우측 중 소음이 크게 발생하는 쪽의 상의 칼라에 부착하였으며, 마이크로폰의 방향은 트랙터의 진행 방향과 일치시켰다. 또한 옷에 의하여 마이크로폰의 수신부가 차단되지 않도록 하였다.

모든 측정은 2007년 3월 30일부터 5월 18일까지 김포, 인천, 시흥, 부천 지역에서 실시하였으며, 이 기간 동안 외기 온도는 15~25℃, 상대 습도는 26.6~70.6%이었다. 표 2와 3은 각각 온습도와 소음 측정 장치의 주요 명세를 나타낸 것이다.

Table 2 Specifications of temperature and relative humidity measuring devices

Specifications	Values
Model	SK-LTH II α-2
Maker	Sato Keiryoki Maf. Co., Ltd. Tokyo, Japan
Measuring range	Temp.: -10.0~60℃ Humidity: 20~98% RH at 23℃
Accuracy	Temp.: ±0.5~±1.0℃ Humidity: ±3.0~±5.0% RH
Power source	3 V battery

Table 3 Specifications of sound level meter

Specifications	Values
Model	CEL-360
Maker	Casella USA, Amherst, NH. USA
Measuring range	30~140 dBA in -10~50℃ and 20~98% RH
Accuracy	±0.2 ~ ±0.5 dBA
Power source	9 V battery

라. 평가 기준

안전캡 내부의 온열 환경은 한국산업규격 KS B ISO 14269-2와 예상 온열감(predicted mean vote, PMV)을 기준으로 평가하였다.

한국산업규격 KS B ISO 14269-2는 운전실의 온도와 상대 습도로써 트랙터 운전자가 쾌적감을 느낄 수 있는 영역을 제시하였다. 건구 온도와 상대 습도로써 표시된 쾌적 영역을 건구 온도와 절대 습도로써 표현하면 그림 1의 사각형 내부와 같다. 이때 절대 습도는 건구 온도와 상대 습도를 이용하여 식 (1)에서와 같이 구하였다.

$$AH = 0.622\frac{P_a}{P_a - P_s} \tag{1}$$

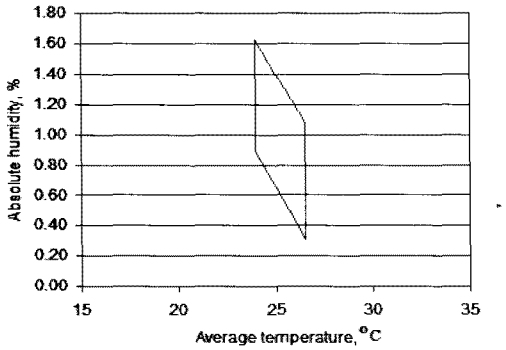

Fig. 1 Comfort zone for operator enclosure.

여기서, $P_s = RH \times 10e^{16.6536 - \frac{4040.183}{T_a + 235}}$

AH = 절대 습도, %

RH = 상대 습도, %

P_a = 대기압, 1013.25×10^2 Pa

P_s = 공기중 수증기 분압, Pa

T_a = 대기 온도, ℃

안전캡 내부의 온도와 습도는 트랙터별로 10분간 10초 간격으로 측정한 온도와 습도의 평균값으로 하였으며, 운전자의 쾌적감은 그림 1의 쾌적 영역을 기준으로 평가하였다.

PMV는 인간의 온열 감각을 정량화한 것으로서 열적 중립 상태를 0으로 하여, -3은 춥다(cold), -2는 서늘하다(cool), -1은 약간 서늘하다(slightly cool), +1은 조금 따뜻하다(slightly warm), +2는 따뜻하다(warm), +3은 덥다(hot)로 나타낸 것이다. PMV는 6개의 온열 환경 변수와 인체의 열부하를 이용하여 다음 식으로 구한다(ISO, 2005):

$$\begin{aligned} PMV = {} & (0.303e^{-0.036M} + 0.028)\{(M - W) \\ & - 0.35 \times 10^{-3}[5733 - 6.99(M - W) - P_a] \\ & - 0.42[(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} M(5867 - P_a) \\ & - 0.0014M(34 - t_a) \\ & - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl}[(t_{cl} + 273)^4 - (\overline{t_r} + 273)^4] \\ & - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)\} \end{aligned} \tag{2}$$

여기서,

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028(M - W) - I_{cl}\{3.96 \times 10^{-8} f_{cl}[(t_{cl} + 273)^4 - (\overline{t_r} + 273)^4] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)\}$$

$$h_c = 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} \text{ if } \frac{2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25}}{\sqrt{v_{ar}}} > 12.1$$

$$h_c = 12.1\sqrt{v_{ar}} \text{ if } \frac{2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25}}{\sqrt{v_{ar}}} \leq 12.1$$

$$f_{cl} = 1.0 + 1.29 I_{cl} \text{ if } I_{cl} < 0.078$$

$$f_{cl} = 1.05 + 0.645 I_{cl} \text{ if } I_{cl} \geq 0.078$$

PMV= 예상 평균 온열감

M = 대사율, w/m^2

W = 외부 일, w/m^2

I_{cl} = 의복의 단열 지수, m^2·℃/w

f_{cl} = 나신 대 복장 상태의 표면적 비

t_a = 공기 온도, ℃

$\overline{t_r}$ = 평균 복사 온도, ℃

v_{ar} = 인체 대 공기의 상대 속도, m/s

P_a = 수증기 분압, Pa

h_c = 대류 열전달 계수, w/m^2·℃
t_{cl} = 의복의 표면 온도, ℃

식 (2)는 대사율이 46~232 w/m^2, 의복의 단열이 0~0.31 m^2·℃/w, 공기 온도가 10~30℃, 평균 복사 온도가 10~30℃, 인체에 대한 공기의 상대 속도가 0~1 m/s일 때 특히 유효한 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 실제 측정한 안전캡 내부의 공기 온도와 상대 습도 및 다음과 같이 가정한 값을 이용하여 PMV를 구하였다(Hwang, 2008).

M = 90 w/m^2: 노외 차량의 운전자(ISO, 2007)
W = 0: 근육에 의한 기계적인 일
I_{cl} = 0.11625 m^2·℃/w: 4~5월의 의복 단열 지수
$\overline{t_r}$ = 10℃: 안전캡의 내부
v_{ar} = 0 m/s: 에어컨 미작동시
3.5 m/s: 에어컨 작동시(KSA, 2003)

안전캡 내부의 PMV는 ISO 7730에서 제시한 작업 공간의 열쾌적 요구 조건인 -0.5 < PMV < +0.5을 기준으로 평가하였다.

안전캡의 내부 소음 수준은 일일 작업 시간 8시간을 기준으로 한 OSHA(Occupational Safety and Health Administration, 2006)의 한계 소음 수준 90 dBA를 적용하여 평가하였다.

4. 결과 및 고찰

가. 온열 쾌적성

KS B ISO 14269-2(KSA, 2003)의 온열 쾌적 영역을 기준으로 한 측정 트랙터의 안전캡 내부 온열 환경은 그림 2에서와 같이 대부분 쾌적 영역을 벗어난 것으로 나타났다. 측정 당시 쾌적 영역에 포함된 트랙터는 2대 뿐으로서 측정 트랙터의 6.2%였다. 트랙터의 출력, 작업의 종류, 수입 트랙터와 국산 트랙터에 따른 온열 환경의 차이는 나타나지 않았으며, 의미 있는 관계를 유도하기가 어려웠다. 에어콘이 작동된 상태에서도 안전캡 내부가 쾌적 영역 상태로 유지된 경우는 없었다. 그림 3, 4, 5는 각각 트랙터 출력, 작업 종류, 에어콘의 작동 유무에 따라 안전캡 내부의 온열 쾌적 상태를 나타낸 것이다.

온습도 측정시 운전자가 특별히 덥거나 춥다고 불평한 경우가 없었기 때문에, 쾌적 영역과 운전자가 실제 느끼는 온열

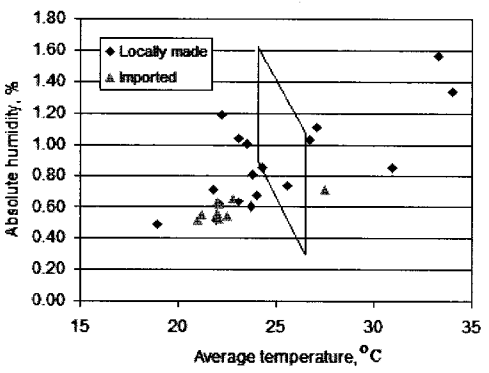

Fig. 2 Thermal comfort of safety cab by manufacturing location with respect to comfort zone.

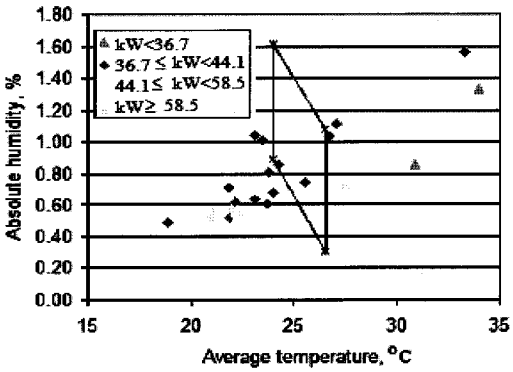

Fig. 3 Thermal comfort of safety cab by tractor power with respect to comfort zone.

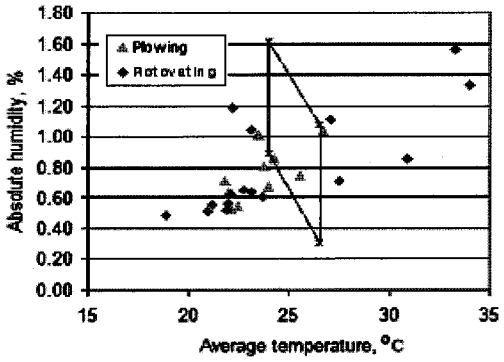

Fig. 4 Thermal comfort of safety cab by type of works with respect to comfort zone.

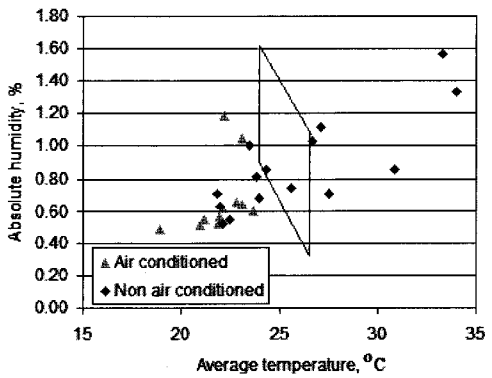

Fig. 5 Thermal comfort of safety cab by air conditioning with respect to comfort zone.

쾌적감 사이에는 차이가 있는 것으로 판단된다. 이는 운전자가 온열 쾌적성 정도에 민감하지 않거나, KS B ISO 14269-2의 쾌적 영역이 지나치게 제한되었기 때문일 수 있다.

나. 예상 온열감

표 4는 측정 트랙터에 대한 안전캡 내부의 PMV 분포를 나타낸 것이다. 측정 트랙터의 85.6%는 PMV가 -1~+3의 범위인 것으로 나타났다. 즉, 트랙터 운전자는 안전캡 내부의 온열 환경이 약간 서늘한 상태에서 더운 상태인 범위에서 운전하는 것으로 평가되었다. PMV가 최적 범위인 -0.5~+0.5인 트랙터는 7대로서 전체의 25%이었다. 7대 중 수입 트랙터가 4대, 국산 트랙터가 3대이었다. 약간 서늘하거나 조금 따뜻한 상태 즉 PMV가 -1~+1인 상태에서 운전하는 경우는 42.8%로서 절반에 미치지 못하였다.

Table 4 PMV of tractor cab

PMV range	No. of tractors	%
-2 < PMV ≤ -1	1	3.6
-1 < PMV ≤ 0	7	25.0
0 < PMV ≤ 1	5	17.8
1 < PMV ≤ 2	5	17.8
2 < PMV ≤ 3	7	25.0
3 < PMV ≤ 4	2	7.1
4 < PMV	1	3.6

트랙터 출력과 작업 종류에 따른 PMV의 차이는 그림 6에서와 같이 일정한 경향을 보이지 않았으며 출력이 36.7 kW 이하인 소형 트랙터에서는 PMV가 컸다. 그러나 에어콘의 작동 여부에 따라서는 PMV의 차이가 현저하게 나타났다. 에어콘을 작동시켰을 때는 트랙터 출력과 작업에 관계없이 모두 PMV가 -1.4~0.6 범위이었으며, 에어콘을 작동시키지 않았을 때는 PMV가 모두 0.6 이상이었다.

측정시 운전자의 소견에 의하면 트랙터 운전자가 실제 느끼는 쾌적감은 KS B ISO 14269-2의 쾌적 영역을 기준으로 한 것보다 PMV를 이용한 온열 환경 평가의 결과와 더 잘 일치하는 것으로 판단된다. 즉, PMV는 온열 환경을 평가하는데 보다 더 적합한 기준이 될 수 있을 것으로 판단된다.

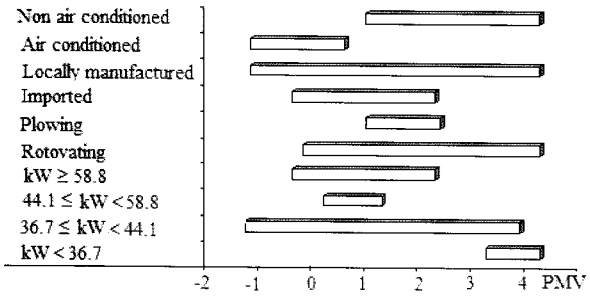

Fig. 6 Cab PMV of measured tractors.

다. 소음

측정 트랙터에 대한 안전캡의 내부 소음 분포는 표 5에서와 같다. 측정한 트랙터의 소음 수준은 70~90 dBA였으며, 측정 트랙터의 67.7%는 75-85 dBA 수준이였다. 따라서 측정 트랙터의 대부분은 OSHA의 일일 작업 시간 8시간을 기준으로 한 한계 소음 수준 90 dBA를 초과하지 않는 것으로 나타났다.

작업별, 트랙터 출력별 안전캡의 소음 수준은 그림 7에서와 같이 큰 차이를 보이지 않았으나, 쟁기 작업보다는 로터베이터 작업에서 또 출력이 높은 트랙터일수록 소음이 낮은 경향을 나타내었다. 출력이 높을수록 안전캡 내부의 넓은 공간과 우수한 흡음재가 소음을 줄이는데 기여한 것으로 판단된다. 국산 트랙터는 수입 트랙터보다 소음 수준이 높은 것으로 나타났으나 그 차이는 1.5~3.8 dBA로서 크지 않았다. 에어콘은 캡의 내부 소음에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

Table 5 Noise level of tractor cab

Noise level	No. of tractors	%
70 < dBA ≤ 75	3	9.7
75 < dBA ≤ 80	9	29.0
80 < dBA ≤ 85	12	38.7
85 < dBA ≤ 90	7	22.6

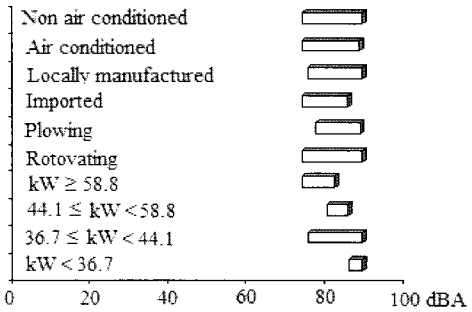

Fig. 7 Cab noise level of measured tractors.

5. 요약 및 결론

본 연구는 농작업 상태에서 운전자가 노출되는 트랙터 안전캡의 내부 온열와 소음 실태를 파악하기 위한 연구로서, 외기 조건, 트랙터 모델, 운전자의 조작 능력의 차이는 고려하

지 않았으며, 측정 시점의 온열 상태와 소음으로써 쾌적성을 평가하였다. 2007년 3월 30일부터 5월 18일까지 49일 동안 김포, 인천, 시흥, 부천 지역에서 쟁기 또는 로터리 작업 중인 32대의 트랙터를 대상으로 안전캡 내부의 온도, 습도, 소음을 측정하여 분석하였다. 안전캡 내부의 온열 환경은 KS B ISO 14269-2의 쾌적 영역과 적정 PMV를 기준으로 평가하였으며, 소음 수준은 일일 8시간 작업을 기준으로 한 OSHA의 90 dBA를 기준으로 평가하였다. 트랙터 출력별, 작업별, 수입 트랙터와 국산 트랙터, 에어컨 작동 여부에 따른 온열 환경과 소음의 차이도 함께 구명하고자 하였다.

본 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

(1) 측정한 트랙터의 안전캡 내부는 KS B ISO 14269-2의 쾌적 영역을 대부분 만족하지 못하였다. 트랙터 출력별, 작업별, 수입 트랙터와 국산 트랙터, 에어콘의 작동 유무에 따른 안전캡의 온열 쾌적성에도 상호간에 상관관계가 나타나지 않았다.

(2) 측정한 트랙터의 안전캡 내부는 PMV를 기준으로 하였을 때 85.6%가 약간 서늘한 상태에서 더운 상태였으며, PMV가 최적인 상태의 트랙터는 측정 트랙터의 25%이었다. 트랙터 출력별, 작업별, 수입 트랙터와 국산 트랙터의 PMV에는 일정한 경향의 차이가 나타나지 않았으나, 에어컨의 작동 유무에 따라서는 분명한 차이가 나타났다. 즉, 에어컨이 작동하였을 때는 작동하지 않았을 때보다 PMV가 낮았으며, 쾌적 조건을 만족하는 비율도 75%로 현저히 높아졌다.

(3) 측정한 트랙터의 소음 수준은 모두 OSHA의 기준을 만족하였으며, 76.7%가 75~85 dBA 수준이었다. 작업별, 트랙터 출력별 안전캡의 소음 수준은 큰 차이가 없었으나, 쟁기 작업보다는 로터베이터 작업에서, 출력이 낮은 트랙터보다는 높은 트랙터에서 낮은 경향이 나타났다. 국산 트랙터는 수입 트랙터보다 소음 수준이 높은 것으로 나타났으나 그 차이는 크지 않았다. 캡의 내부 소음에 미치는 에어콘의 영향은 나타나지 않았다.

(4) 이상의 결과로부터 현재 국내에서 사용되는 있는 대부분의 트랙터는 최적의 운전 환경을 유지하지 못하고 있는 것으로 판단된다. 그러나 소음 수준은 대부분 OSHA의 기준을 만족하고 있는 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: 200703010 33018)의 지원에 의해 이루어진 것임.

참고문헌

1. Cho, Y. M., D. S. Park, B. H. Park and E. Y. Park. 2005. Study on the indoor air quality of Korea Train Express (KTX) Gyeongbu-Line. Proceedings of the Fall Conference of the Korean Society for Atmospheric Environment. pp. 381-383. (In Korean)
2. Cho, Y. C., D. B. Lee and U. T. Shim. 1986. A study on the noise induced hearing loss of workers in industry. Journal of the Korean Industrial Health Association 1:9-19.
3. Choi, S. J. and K. S. Park. 1988. Development of the index to estimate thermal comfort in the driving room of motor car. Journal of the Ergonomics Society of Korea 1:188-193. (In Korean)
4. Clark, W. W. and B. A. Bohone. 1999. Effects of noise on hearing. JAMA 281(17):1658-1659.
5. Depczynski, J., R. C. Franklin, C. W. Williams and L. J. Fragar. 2005. Farm noise emissions during common agricultural activities. Journal of Agricultural Safety and Health 11(3):325-334.
6. Hwang, K. Y. 2008. Evaluation of Environmental Comfort of Tractor Cabs. Unpublished MS thesis. Biosystems Engineering, Seoul National University. (In Korean)
7. ISO. 2005. ISO Standard 7730: Ergonomics of the Thermal Environment- Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria. International Standard Organization, Geneva, Switzerland.
8. ISO. 2007. ISO/TS 14505-1: Ergonomics of the Thermal Environment - Evaluation of Thermal Environments in Vehicles - Part 1: Principles and Methods for Assessment of Thermal Stress. International Standard Organization, Geneva, Switzerland.
9. Jang, M. S., C. D. Koh and I. S. Moon 2007. Review of thermal comfort design based on PMV/PPD in cabins of Korean maritime patrol vessels. Building and Environment 42(1):55-61.
10. Kaufman, K. R., P. K. Turnquist and R. N. Swanson. 1979. Thermal comfort in an air-conditioned tractor cab. Transactions of the ASAE 22(4):694-698, 701.
11. Kim, J. S. 2006. A Study on the Driver-Perceived Noise Level of Agricultural Tractors. Unpublished MS thesis. Korea University of Technology and Education. Cheonan, Korea. (In Korean)
12. KSA. 2003. KS B ISO 14269-2: Tractors and Self-Propelled Machines for Agriculture and Forestry - Operator Enclosure Environment - Part 2: Heating, Ventilation and Air-Conditioning Test Method and Performance. Korean Standard Association, Seoul, Korea. (In Korean)

13. Ministry of Labor. 2005. Notice 2005-47: Regulations for Measurement of Working Environment and Data Management. Ministry of Labor, Korean Government. (In Korean)
14. OECD. 2006. OECD CODE 5: Standard Code for the Official Measurement of Noise at the Driving Positions on Agricultural and Forestry Tractors. Organization for Economic Co-operation and Development, Paris, France.
15. OSHA. 2006. OSHA Standard 1910.95: Occupational Noise Exposure - General Industry Standard. Occupational Safety & Health Administration, Washington DC, USA.
16. Pessina, D. and M. Guereetti. 2000. Effectiveness of hearing protection devices in the hazard reduction of noise from used tractors. Journal of Agricultural Engineering Research 75(1): 73-80.
17. Shim, C. G., J. H. Roh and J. G. Park. 2005. A comparison of noise level by noise measuring methods. Journal of the Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene 5(2): 128-136. (In Korean)
18. Yoo, D. H., K. U. Kim and J. Y. Kim. 1995. A case study on inside noise reduction of agricultural tractor cab (I). Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery 20(2): 127-132.